

Bioquímica y biología molecular de plantas

FRANCISCO GARCÍA OLMEDO

ETS Ingenieros Agrónomos. Departamento de Biotecnología.
Universidad Politécnica de Madrid

Introducción

Si aplicamos un criterio antropocéntrico, las plantas superiores deben seguir de modo inmediato al hombre como objetos de interés tecnocientífico, ya que —directa o indirectamente— constituyen su principal sustento. Por otra parte, su papel central en la evolución de la biosfera y la singularidad de algunos de los procesos biológicos que las caracterizan justifican una especial atención en el ámbito de la investigación básica.

Contra todo pronóstico, la humanidad está mejor alimentada de lo que lo ha estado en toda su historia, aunque el hecho de que 800 millones de seres humanos padezcan hambre estricta sigue siendo su lacra más lacerante. Sin las plantas cultivadas, sobraríamos al menos nueve de cada diez habitantes de este planeta. Las mejoras de la producción de alimentos en los últimos 40 años sólo han logrado rebajar el número de hambrientos en poco más de 100 millones, aunque hay que tener en cuenta que en ese tiempo la población mundial se ha duplicado, por lo que los resultados de nuestro esfuerzo podrían haber sido mucho peores. Así, por ejemplo, cabe preguntarse cuál sería el número de hambrientos si el precio del alimento básico (trigo, arroz, maíz), expresado en divisa constante o en salario mínimo, no se hubiera reducido a la cuarta parte durante ese período, gracias a la mejora de las variedades y otros avances.

El revolucionario incremento de la producción agrícola durante la segunda mitad del siglo XX se basó principalmente en los cultivos de trigo semienano, obtenidos por Norman Borlaug en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejora del

Maíz y del Trigo, México), los arroces de ciclo corto, generados por el IRRI (International Rice Research Institute, Filipinas), y los maíces híbridos, cuya temprana difusión práctica se debió al espíritu emprendedor de H. R. Wallace. El brusco cambio en los sistemas de producción trajo consigo otras consecuencias, positivas y negativas, pero éstas no deben ocultar el hecho fundamental de que, gracias a esos cambios, se han podido alimentar cientos de millones de personas que de otra forma no habrían tenido qué comer: sólo en la India, el incremento de la producción de trigo en estas cuatro décadas ha supuesto el equivalente calórico de las necesidades nutricionales anuales de unos 400 millones de personas.

Como la base científica de los cambios mencionados, hay que aludir a la incorporación tardía del marco teórico de la gran síntesis darwiniano-mendeliana a la mejora vegetal. Este motor ha empezado a ser incapaz de propulsar tasas de crecimiento de los rendimientos como las logradas en décadas pasadas y ha cedido parte del protagonismo a la plena aplicación de las técnicas de la ingeniería genética a la mejora de las plantas cultivadas. Es a este fenómeno al que yo he llamado "la tercera revolución verde"¹. Dicha revolución lo ha sido tanto de los conocimientos botánicos como de sus aplicaciones prácticas, ciencia y tecnología que con gran frecuencia han surgido de los mismos laboratorios universitarios e institucionales, al menos en las etapas fundacionales.

Sin la aplicación de la ingeniería genética, difícilmente se hubiera producido la avalancha de nuevos conocimientos y aplicaciones. Nuevas hormonas vegetales, mecanismos y nuevas funciones de las ya conocidas, los secretos del desarrollo floral o del foliar, la inmunidad vegetal, las respuestas sistémicas, la sensibilidad de las plantas al tacto o al viento, al estrés abiótico o al biótico, o la comunicación entre plantas son sólo algunos de los aspectos básicos que pueden citarse en este contexto. Desde el punto de vista práctico, baste señalar que, en la actualidad, la superficie sembrada con plantas transgénicas se aproxima a 60 millones de hectáreas, las cuales se distribuyen por más de una docena de países. Aunque como tecnología no viene a sustituir sino a sumarse a los eficaces métodos de la mejora tradicional, la incorporación de las plantas transgénicas a la producción agrícola es ya irreversible. Puede decirse que la bioquímica y la biología molecular se han establecido con firmeza en un nuevo ámbito de actuación.

Me propongo en este capítulo examinar, a grandes rasgos, cómo se han desenvuelto la bioquímica y la biología molecular españolas en el marco que acabo de describir, pero antes de recorrer aguas arriba, hacia sus orígenes, el río de esa historia, me detendré brevemente en la descripción del panorama actual, tanto de la especialidad científica a escala global como de la comunidad especializada en España.

Moléculas, genes y plantas

Los modos tradicionales de abordar el estudio del mundo vegetal —moléculas, genes, organismos, ecosistemas— se han integrado en gran medida en una forma polifacética de investigación que está dando excelentes resultados.

El desarrollo de una planta se caracteriza por la formación repetitiva de órganos, según programas genéticos que se activan en respuesta a estímulos externos y señales hormonales. En la primera etapa del desarrollo, ovocélulas fertilizadas dan lugar a semillas, y en la segunda se desarrolla el cuerpo vegetativo. El proceso reproductivo comprende la formación de flores, seguida de la de frutos y semillas, las cuales deben, finalmente, dispersarse. La muerte celular y la senescencia son procesos esenciales del desarrollo. En todos estos aspectos se han realizado avances muy notables que han surgido de la confluencia e integración de las formas clásicas de abordar la botánica y las modernas: las de la bioquímica y la fisiología vegetales, la taxonomía, la genética mendeliana y, más recientemente, la biología y la genética moleculares. La secuenciación de los primeros genomas vegetales —el de *Arabidopsis thaliana* y los de las dos subespecies de arroz— que se ha completado en simultaneidad con el humano (incluso con mayor precisión), están dando pie a la consolidación sistemática de estos avances.

La fotosíntesis es el proceso central de conversión energética en el mundo vegetal y su investigación ha protagonizado durante décadas la investigación bioquímica de los vegetales. En los últimos años se ha podido pasar del estudio de la transducción de energía a la caracterización y manipulación de los transductores. El crecimiento de las plantas requiere no sólo oxígeno y CO_2 atmosférico, sino también nutrientes minerales del suelo y agua. Por ser las plantas sedentarias, sus relaciones con el mundo físico —agua, suelo, atmósfera— representan un capítulo importante de su biología. Cómo responden a la sequía, la salinidad, la acidez, las disponibilidades de nutrientes o las temperaturas extremas, son cuestiones esenciales tanto en el contexto de su conocimiento como en el de su manipulación práctica.

Otro aspecto en el que se han registrado avances recientes de gran importancia ha sido el de la elucidación de las interacciones de las plantas con otros seres vivos. Esto ha conducido a interesantes aplicaciones que están protagonizando el despegue de los usos agrícolas de la nueva biotecnología vegetal. En concreto, más del 90 por 100 del área actualmente sembrada con plantas transgénicas corresponde a este ámbito de aplicación.

Desde el punto de vista del conocimiento básico, la biología molecular ha arrojado luz sobre los mecanismos íntimos tanto de las interacciones beneficiosas como de las adversas. La secuenciación de los genomas de muchos de estos microorganis-

mos permite analizar el 'diálogo' entre éstos y la planta desde el punto de vista de cada uno de los protagonistas.

Al menos tres tipos de microorganismos resultan beneficiosos para las plantas: los que establecen con ellas una relación de simbiosis (especialmente los Rhizobia, que fijan nitrógeno atmosférico), los que antagonizan a patógenos de plantas y, de modo más indirecto, los saprofitos que mineralizan y degradan la materia orgánica del suelo, aportando así nutrientes para la planta, tales como nitrógeno, fósforo o hierro.

Entre los microorganismos adversos a las plantas cultivadas se encuentra un cierto número de virus, bacterias y hongos que causan pérdidas importantes en las cosechas. Las plantas reconocen a los patógenos y responden mediante la inducción de mecanismos de defensa cuyos componentes empiezan a conocerse en cierto detalle. Algunos patógenos desarrollan estrategias para eludir estas barreras defensivas, y la gestión óptima de la lucha contra estos factores adversos requiere el concurso de prácticas agronómicas apropiadas, el prudente uso de productos fitosanitarios y otros agentes antifitopatogénicos, así como el aprovechamiento de las nuevas aportaciones de la ingeniería genética.

Las plagas de insectos y ácaros y las enfermedades causadas por los nematodos son responsables de pérdidas de cosecha de hasta el 20 por 100 a escala global. Entre las estrategias básicas para evitar estas importantes pérdidas hay que incluir las siguientes: siembra de variedades resistentes, uso de plaguicidas naturales y sintéticos, fomento de organismos que antagonizan a los deletéreos (control biológico) y prácticas agronómicas apropiadas. De nuevo, en este ámbito, la biología molecular está permitiendo analizar las respuestas de las plantas, y la ingeniería genética ha provisto ya interesantes soluciones prácticas.

Las plantas cultivadas compiten con las malezas por el suelo agrícola, la luz y los nutrientes, de modo que el control de estas últimas es esencial para la obtención de rendimientos óptimos. Dicho control consume buena parte de la energía, la mano de obra y los productos químicos requeridos en la producción de alimentos. La nueva biotecnología ha aportado ya brillantes soluciones a la reducción de malezas en el campo de cultivo.

Instantáneas actuales

Tratemos de situar ahora las actividades de los científicos españoles en el panorama temático que acabamos de esbozar. Unas instantáneas no pueden hacer justicia a la descripción de un sistema dinámico, pero sí servir para iniciar una tarea en la que de todas formas estamos avocados al fracaso. Describamos en términos com-

parativos la aportación de los laboratorios españoles a la bioquímica y la biología molecular de las plantas superiores, reduciéndola a unos números, aunque éstos deban interpretarse con precaución.

Una primera foto fija está tomada en el reciente '7th International Congress of Plant Molecular Biology', celebrado recientemente en Barcelona (23-28 de junio, 2003) bajo los auspicios de *The International Society for Plant Molecular Biology*. Un total de 133 contribuciones, entre unas 1.500 de todo el mundo (8,5 por 100), procedieron de laboratorios españoles, los cuales estuvieron representados en todas las áreas especializadas: Biología del Desarrollo (24 comunicaciones), Metabolismo y Transporte (13), Estrés Biótico y Abiótico (12), Ciclo Celular (7), Hormonas (8), Transducción de Señales (20), Fotosíntesis y Fijación Simbiótica de Nitrógeno (8), Biología Celular y Expresión Génica (7), Genómica (16), Mejora Molecular (18). Dichas contribuciones procedieron de una cuarentena de instituciones españolas distribuidas en 20 ciudades, aunque la mitad de ellas se concentran en Madrid, Barcelona, Valencia y Sevilla.

Una segunda instantánea puede tomarse del *EMBO Membership List 2003*. En torno a un millar de científicos europeos han sido elegidos miembros de *European Molecular Biology Organization* mediante un proceso riguroso y exigente, aunque no exento de sesgos. Sólo 42 de estos investigadores son españoles (4 por 100), lo que significa que nuestro país está subrepresentado en dicha organización (España contribuye más del 6 por 100 al presupuesto). Siete de estos españoles (16 por 100) se dedican a la investigación de los vegetales (Pilar Carbonero, Francisco García Olmedo; C. Gutiérrez, Montserrat Pagés, Jaime Paz-Ares, Pere Puigdomenech, Ramón Serrano). Dicha especialidad está poco representada en EMBO, ya que menos de una cuarentena de sus miembros la practican (3,5 por 100). Sin echar las campanas al vuelo, puede decirse que, en términos comparativos, la biología molecular de plantas está razonablemente representada en este ámbito selecto.

Finalmente, si consultamos la Memoria 1998-2001 de la SEBBM, podemos fotografiar el objeto de nuestro interés desde otro ángulo: el Grupo Científico de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas sólo tiene adscritos 68 socios, una cifra que bajo cualquier óptica debe considerarse como muy baja, aunque existen miembros de esa especialidad que al parecer no figuran como inscritos en el grupo o inscritos en otros grupos. Tal vez dicha cifra tan modesta represente solamente los restos de un desbordamiento de la actividad hacia un nuevo cauce, el de las bianuales Reuniones de Biología Molecular de Plantas, a las que me referiré más adelante. Dicho nuevo cauce también se ha alimentado por el desbordamiento de las actividades en esta especialidad de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal (SEFV) y de la Sociedad Española de Genética (SEG).

El número de investigadores españoles dedicados a la bioquímica y biología molecular de las plantas superiores ha crecido vertiginosamente en los últimos años hasta situarse en torno al millar, y no parece que ninguna de las sociedades científicas existentes (SEBBM, SEFV o SEG) hayan podido acoger tan vigoroso surgimiento. Veamos dicho progreso retrocediendo en el tiempo.

La década finisecular

La evolución de la investigación sobre biología molecular de plantas en los laboratorios españoles, a lo largo de la última década del siglo XX, queda reflejada en las actas de las ya aludidas "Reuniones de Biología Molecular de Plantas". La idea de esta serie de reuniones fue de Gregorio Nicolás, quien ya empezó en los años ochenta a abordar la fisiología vegetal en su aspecto molecular. La primera tuvo lugar en Salamanca en 1991 y fue coorganizada con Bartolomé Sabater. Apenas medio centenar de comunicaciones se presentaron en la I Reunión, mientras que en la VI (2001) han sido casi dos centenares. Unos 70 grupos de investigación y unos 450 nombres figuraban al final de dichas actas. Por supuesto, la lista no incluye a todos los que forman parte del colectivo nacional, que, como se ha dicho, es tal vez de casi un millar de miembros, y entre los laboratorios representados siempre faltan algunos ciertamente importantes. Finalmente, algunas comunicaciones corresponden a jóvenes investigadores españoles integrados en grupos extranjeros.

Las reuniones celebradas hasta la fecha y sus respectivos coordinadores han sido las siguientes:

- I Reunión; Salamanca, 19-20 de septiembre de 1991. Gregorio Nicolás y Bartolomé Sabater.
- II Reunión; Valencia, 7-9 de noviembre de 1993. José Pío Beltrán y Vicente Conejero.
- III Reunión; Sevilla, 21-23 de noviembre de 1995. A. J. Palomares y J. A. Pintor.
- IV Reunión; Sitges, 19-21 de noviembre de 1997. A. Boronat y B. San Segundo.
- V Reunión; Alicante, 25-27 de noviembre de 1999. J. L. Micol.
- VI Reunión; Toledo, 31 de mayo-2 de junio de 2001. C. Fenol.

Con variantes menores de una reunión a otra, los programas suelen incluir los siguientes temas: regulación de la expresión génica; desarrollo; metabolismo; estrés abiótico; estrés biótico, y fitopatógenos. Seguiré ese orden en los breves comentarios que siguen, que son necesariamente incompletos.

Regulación de la expresión génica. El primer factor de transcripción de plantas fue descrito por J. Paz-Ares hace unos años en el Instituto Max Planck de Colonia (Alemania). Este investigador, que actualmente dirige el Departamento de Genética Molecular de Plantas del Centro Nacional de Biotecnología, coordina un consorcio europeo de tres decenas de grupos que está abordando la descripción sistemática de los factores de transcripción de *Arabidopsis*. En dicho consorcio participa también el equipo de P. Carbonero, del Departamento de Biotecnología de la Universidad Politécnica de Madrid en la ETS de Ingenieros Agrónomos.

Desarrollo. Los estudios sobre biología del desarrollo vegetal en nuestro país fueron iniciados, en relación con el desarrollo floral, por José Miguel Martínez Zapater en Madrid (INIA) y, respecto al desarrollo de fruto, por J. P. Beltrán en Valencia (IBMCP). J. L. Micol, de la Universidad Miguel Hernández (Elche) inició al principio de la década estudios sobre desarrollo foliar.

Metabolismo. La aplicación de la ingeniería genética a la resolución de los problemas tradicionales de la bioquímica y la fisiología vegetal está dando sus frutos en forma de una variada gama de trabajos sobre enzimas, hormonas, acumulación de sustancias de reserva, metabolitos secundarios, etc. Esta parcela ha de salir muy revitalizada —no sólo en España sino también a escala global— con los recientes avances en genómica. Hay que señalar que el estudio del metabolismo del nitrógeno ha atraído a un alto número de laboratorios que suelen reunirse separadamente y están poco representados en las reuniones de plantas.

Estrés abiótico. La decana de este tipo de estudios es Monserrat Pagés, quien lleva dos décadas investigando aspectos relevantes de la respuesta de las plantas a la sequía. Merece también mencionarse la aportación al conocimiento de la tolerancia de las plantas a la salinidad que ha supuesto el desembarco verde de especialistas en levaduras interesados en el transporte iónico. Las investigaciones de R. Serrano (IBMCP) y de A. Rodríguez (ETSLA-UPM) son un buen exponente de esta tendencia, muy bien representada en nuestra comunidad científica.

Estrés biótico. V. Conejero lleva casi tres décadas interesándose por el estrés causado en las plantas por organismos foráneos y son muchos los laboratorios que en la actualidad se ocupan de las interacciones de las plantas con viroides, virus, bacterias, hongos, nematodos, insectos y otros organismos adversos a los cultivos.

Fitopatógenos. El estudio de los organismos fitopatógenos en sí centra el interés de un número reducido de grupos con proyección internacional. Varios equipos involucrados en el estudio de viroides y virus, así como los muy pocos centrados en bacterias y hongos enlazan con el *corpus* representado por la Sociedad Española de Fitopatología.

Naturalmente, parte de lo que se hace no se encuadra en los apartados anteriores y, por otra parte, una reseña como ésta tiene que ser necesariamente incompleta.

Desde el punto de vista institucional, puede señalarse que en el año 1990 se crea el Laboratorio Europeo Asociado de Biología Molecular de Plantas CNRS-CSIC, por convenio entre los laboratorios ya establecidos de Perpiñán y Barcelona, bajo la codirección de P. Puigdomènech y M. Delseny. El laboratorio del CSIC en Barcelona se reorganiza al crearse el Departamento de Genética Molecular, dentro del nuevo Instituto de Biología Molecular.

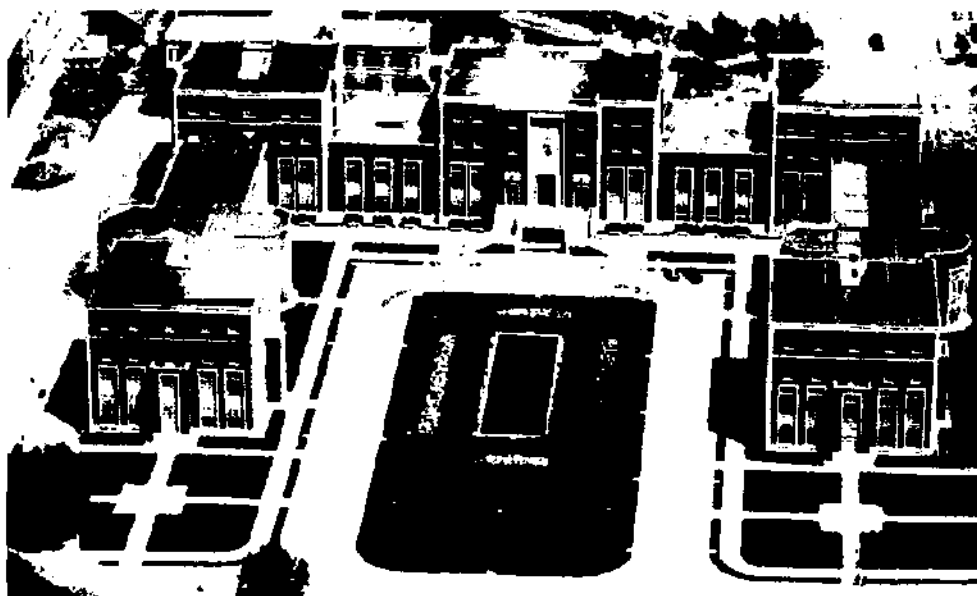
El hito institucional más significativo es quizás la creación del último núcleo numéricamente importante de genética molecular de plantas, que se inaugura oficialmente en Valencia en 1995, bajo la denominación de Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas Eduardo Primo Yúfera (IBMCP). Éste resulta de la confluencia intelectual de V. Conejero y J. P. Beltrán, en forma de convenio específico entre la Universidad Politécnica de Valencia y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (21-10-1992). Los estudios sobre interacción patógeno-planta del primero y los de carácter fisiológico del segundo habían desembocado en un abordaje de genética molecular al principio de la década de los noventa. De la vitalidad del IBMCP da una idea el hecho de que se haya pasado de 84 personas en 1994 a 204 personas en la actualidad. La lista de líneas de trabajo de este instituto es muy extensa y cubre prácticamente todas las vertientes actuales de la especialidad.

Despertar en los ochenta

Al principio de la década de los ochenta tiene lugar, a escala global, la gran eclosión de la genética molecular y de la ingeniería genética de plantas, siendo el año 1983 cuando por primera vez se consiguió transformar genéticamente los vegetales. En el ámbito español, se produce una mejora sustancial del sistema de evaluación y financiación de la investigación que facilita la incorporación sin dilación alguna de los investigadores españoles a la nueva corriente.

En unos casos, como el del Departamento de Bioquímica de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid (Universidad Politécnica; ETSIA-UPM), se hubo de cambiar de prisa para poder seguir abordando las líneas de trabajo preexistentes: péptidos de plantas activos frente a insectos y frente a microorganismos patógenos; transferencia de genes de resistencia a enfermedades; marcadores moleculares como auxiliares de la mejora vegetal; control genético de las proteínas de grano. Es precisamente en el año 1983 cuando dicho laboratorio refleja el cambio en algunas de sus publicaciones^{2,3}.

A escala global, la investigación sobre plantas se hizo atractiva para científicos de otros campos, lo que se reflejó en una gran afluencia de investigadores procedentes de otras áreas hacia lo vegetal. Dentro de esta corriente se identifica el



Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

grupo del CSIC de Barcelona. El año 1980 se constituye el Instituto de Biología de Barcelona (IBB), centro propio del CSIC, y dentro de él, el grupo Biología Molecular dirigido por J. Palau comienza sus investigaciones sobre las proteínas de reserva del maíz. En el año 1984 publican los primeros artículos sobre el tema^{4,5}. Entre los autores de los primeros trabajos —J. Palau, P. Puigdomènech, M. Pagés, S. Prat, M. D. Ludevid, J. A. Martínez Izquierdo, J. Cortadas (*q.e.p.d.*)— estaban los principales responsables del vigor actual que estos estudios han alcanzado en el IBB-CSIC de Barcelona (antes CID-CSIC) bajo la gestión de P. Puigdomènech: de las proteínas de reserva a la embriología vegetal, la respuesta a la sequía, la genómica y la cartografía genética, los mecanismos de acción hormonal y muchas otras cuestiones.

A mediados de la década se inició el proyecto del Centro Nacional de Biotecnología (CNB), que incluía una división de plantas, cuya dirección durante un período fundacional (1986-1993) recayó en P. Carbonero, para luego ser sucedida por J. Paz-Ares. En los laboratorios verdes del CNB, en los que trabajan unas 60 personas, se investiga sobre factores transcripcionales, estrés abiótico, interacción patógeno-planta, virología, biología del desarrollo y genómica, entre otras líneas.

En la ETSIA-UPM, lo que involucró inicialmente a unos pocos investigadores al principio de la década acabó implicando a casi un centenar de personas al final de ella, cuando en 1987 se consolidó lo que se llamaría Departamento de

Biotecnología de la Universidad Politécnica de Madrid (DBIT-UPM). La ingeniería genética era ya herramienta común en varios de los cinco departamentos que se fusionaron en el nuevo: Bioquímica y Biología Molecular de la Escuela de Ingenieros de Montes, Bioquímica y Biología Molecular, Microbiología, Genética y Mejora Vegetal y Patología Vegetal de la de Ingenieros Agrónomos. Bajo ese marco, se empezó a vender tecnología en el mercado internacional (primera cesión de derechos de patente y licencia exclusiva en 1989; primera patente aceptada en Estados Unidos en 1995).

Los setenta: años de transición

Al principio de los setenta, los estudios bioenergéticos —fotosíntesis, metabolismo del nitrógeno—, que tan brillantemente se habían introducido en España de la mano de M. Losada, habían dado lugar a un poderoso venero que fluyó hacia cotas cada vez más reduccionistas, desde las espinacas a las algas y los microorganismos. De hecho, sólo tres entre casi una treintena de trabajos publicados en este contexto se refieren a una planta superior, la espinaca⁶⁻⁸. Y es que, bien pensado, para algunas características distintivas de una planta superior —la pared celular o la capacidad fotosintética— siempre se encuentran modelos más sencillos donde estudiarlas. La escuela de Losada ha brillado en los estudios sobre la bioenergética y el metabolismo del nitrógeno durante estas últimas décadas y ha confluído con otras tradiciones centradas en el lado bacteriano de la fijación simbiótica del nitrógeno para ocupar una parcela bien definida en la investigación biológica española.

En 1970, en la recién fundada cátedra de Bioquímica y Química Agrícola (más tarde Departamento de Bioquímica) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, se inicia una línea de trabajo sobre genética bioquímica (más tarde molecular) de las plantas cultivadas. A lo largo de la década se harían aportaciones al conocimiento de los sistemas de defensa de las plantas frente a plagas y enfermedades, mapas genéticos y uso de marcadores moleculares en la transferencia de genes de resistencia desde especies silvestres a cultivadas; silenciamiento de genes duplicados; y variación genética de la relación dosis génica/cantidad de proteína, incluida la descripción del fenómeno de compensación de dosis génica en plantas. Estos estudios corresponderían a los modernos epígrafes de regulación génica, proteo-genómica y biotecnología vegetal⁹⁻¹³. Hacia el final de la década resultaba evidente que se estaban desarrollando nuevas formas mucho más adecuadas para enfrentar este tipo de investigación.

La década fundacional

El inicio de las investigaciones modernas sobre bioquímica vegetal en España puede situarse en 1962, en la Sección de Bioquímica y Fisiología Celular del Instituto

de Edafología y Biología Vegetal del CSIC, que en 1964 daría lugar al Instituto de Biología Celular del CSIC. La figura fundacional fue, sin duda, Manuel Losada, quien obtuvo una plaza de Investigador del CSIC en 1962, después de un largo período de formación (1954-1962) en Alemania, Dinamarca y sobre todo en Estados Unidos, en el laboratorio de D.I. Arnon en Berkeley (Universidad de California).

A partir de 1963, irrumpen vigorosamente las publicaciones del nuevo grupo en relación con la reducción biológica de nitrato y nitrito, *in vivo* e *in vitro*: fotorreducción de nitrato y nitrito en cloroplastos aislados; reducción de nitrito en la luz y en la oscuridad en sistemas reconstituidos; fotosíntesis y asimilación de nitrógeno; reducción de nitrito a amonio en cloroplastos, entre otros temas. Más de una docena de estas publicaciones se centran en una planta superior, la espinaca, como modelo¹⁴⁻²⁶.

Desde el punto de vista institucional no se puede dejar de mencionar la fundación en Valencia (1957) del Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos del CSIC. Aunque su ámbito no es exactamente el de la materia aquí historizada, sí incluye estudios de química orgánica de productos vegetales y tecnología de alimentos que pueden inscribirse en ella. Adicionalmente, de esta cantera habría de surgir años más tarde el anteriormente aludido IBMCP del CSIC en Valencia. La figura fundadora en este caso ha sido Eduardo Primo Yúfera, cuyo dinamismo e influencia han impregnado los más diversos ámbitos de la ciencia española.

Los primeros estudios sobre genética bioquímica de las plantas en nuestro país, publicados por P. Carbonero y F. García Olmedo²⁷⁻²⁸, surgen al final de la década en el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (INIA), bajo el estímulo y el amparo de dos figuras señeras de la ciencia española: Enrique Sánchez-Monge y Juan Santa María Ledochowski. El primero, junto con Joe Hin Tjio (el mismo que unos años más tarde determinaría de forma definitiva el número de cromosomas del ser humano), obtuvo el *Triticale* hexaploide, anfiploide de trigo tetraploide y centeno que representa la única especie vegetal obtenida experimentalmente que se cultiva hoy (millón y medio de hectáreas); mientras que Santa María, descubridor de nuevos géneros y especies de levadura, dirigía la Sección de Bioquímica del INIA e introdujo en España técnicas tales como la ultracentrifugación analítica o el análisis de aminoácidos.

El futuro

Las perspectivas futuras de la especialidad que nos ocupa son difíciles de analizar porque ésta se encuentra en una difícil encrucijada, tanto en Europa como en España. Dado el irracional rechazo de las plantas transgénicas en Europa, el apoyo público a este tipo de investigaciones ha sufrido un drástico declive. A esta circuns-

tancia adversa, hay que sumar la ceguera de la política científica española respecto a los estudios de genómica y proteómica. En el caso particular de las plantas, la inversión está siendo varias veces inferior a la del Estado de Sao Paulo (Brasil) y trescientas veces inferior a la de Holanda.

Afortunadamente, no todo son malas noticias y pueden citarse varios signos esperanzadores, entre los que cabe citar la creación de nuevas infraestructuras y nuevos marcos institucionales. En este contexto, se acaba de crear un consorcio entre el CSIC en Barcelona y la entidad catalana de investigación y tecnología agraria (IRTA), el Laboratorio de Genética Molecular Vegetal, una fórmula administrativa que debe suponer una adaptación más ágil a los nuevos tiempos. Por otra parte, el IBMCP de Valencia tiene ya en marcha su traslado a una nueva instalación de 5.500 metros cuadrados que debe inaugurarse a finales de 2005. En la misma línea puede considerarse el Instituto de Biotecnología y Genómica de Plantas (IBGP), que ocupará unos 3.000 metros cuadrados en el parque científico de la Universidad Politécnica de Madrid, por convenio entre esta institución, el Instituto Nacional de Investigaciones Científicas y sectores empresariales.

Bibliografía

1. García Olmedo, F. *La Tercera Revolución Verde*. Debate, Madrid, 1998 (trad. ital. IlSole/24 Hore, 2000).
2. Doussinault, G., Delibes, A., Sánchez-Monge, R. and García-Olmedo, F. "Transfer of a major dominant gene for resistance to eyespot disease from a wild grass to hexaploid wheat". *Nature* 303 (1983), pp. 698-700.
3. Ponz, F., Paz-Ares, J., Hernández-Lucas, C., Carbonero, P. and García-Olmedo, F., "Synthesis and processing of thionin precursors in developing endosperm from barley (*Hordeum vulgare* L.)". *EMBO J.* 2 (1983), pp. 1035-1040.
4. Ludevid, M. D., Torrent, M., Martínez-Izquierdo, J. A. Puigdomènech, P. and Palau, J. Subcelular localization of glutelin-2 in Maite (*Zea mays* L.) endosperm. *Plant Mol. Biol.* 3 (1984), pp. 227-234.
5. Martínez-Izquierdo, J. A., Ludevic, M. D., Puigdomènech, P. and Palau, J. Two-dimensional gel electrophoresis of zein proteins from normal and Opaque-2 maize with non-ionic detergent acid urea-polyacrylamide gel electrophoresis in the first dimension. *Plant Sci. Lett.* 34 (1984), pp. 43-50.
6. Relimpio, A. M., Aparicio, P. J., Paneque, A. and Losada, M. Specific protection against inhibitors of the NADH-nitrate reductase complex from spinach. *FEBS Lett.* 17 (1971), pp. 226-230.

7. Relimpio, A. M., Guerrero, M. G., Paneque, A. and Losada, M. Determination of nitrate with nitrate reductase from spinach leaves. *Z. Pflanzenphysiol* 66 (1972), pp. 290-293.
8. Candau, P., Manzano, C. and Losada, M. Bioconversion of light energy into chemical energy through reduction with water of nitrate to ammonia. *Nature* 262 (1976), pp. 715-717.
9. Fernández de Caleyá, R., González Pascual, B., García Olmedo, F. and Carbonero, P. Susceptibility of phytopathogenic bacteria to wheat purothionins in vitro. *Appl. Microbiology* 23 (1972), pp. 998-1000.
10. Fernández de Caleyá, R., Hernández-Lucas, C., Carbonero, P. and García Olmedo, F. Gene expression in allopolyploids: genetic control of lipopurothionin in wheat. *Genetics* 83 (1976), pp. 687-699.
11. Hernández-Lucas, C., Fernández de Caleyá, R., Carbonero, P. and García-Olmedo, F. Control of galactosyl diglycerides in wheat endosperm by group 5 chromosomes. *Genetics* 85 (1977), pp. 521-527.
12. Aragoncillo, C., Rodríguez-Loperena, M. A., Salcedo, G., Carbonero, P. and García-Olmedo, F. Influence of homoeologous chromosomes on gene-dosage effects in allohexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 75 (1978), pp. 1446-1450.
13. Salcedo, G., Aragoncillo, C., Rodríguez-Loperena, M. A., Carbonero, P. and García-Olmedo, F. Differential allelic expression at a locus encoding an endosperm protein in tetraploid wheat (*Triticum turgidum*). *Genetics* 89 (1978), pp. 147-156.
14. Paneque, A., Del Campo, F. F. and Losada, M. Nitrite reduction by isolated chloroplasts in light. *Nature* 198 (1963), pp. 90-91.
15. Losada, M., Paneque, A., Ramírez, J. M. and Del Campo, F. F. Mechanism of nitrite reduction in chloroplasts. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 10 (1963), pp. 298-303.
16. Del Campo, F. F., Paneque, A., Ramírez, J. M. and Losada, M. Nitrate reduction in the light by isolated chloroplasts. *Biochim. Biophys. Acta* 66 (1963), pp. 450-452.
17. Cánovas, J. L., Ruiz-Amil, M. and Losada, M. The glyoxylate cycle in olive seedlings. *Biochim. Biophys. Acta* 73 (1963), pp. 646-649.
18. Ramírez, J. M., Del Campo, F. F., Paneque, A. and Losada, M. Mechanism of nitrate reduction in chloroplasts. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 15 (1964), pp. 297-302.
19. Paneque, A., Del Campo, F. F., Ramírez, J. M. and Losada, M. Flavio nucleotide nitrate reductase from spinach. *Biochim. Biophys. Acta* 109 (1965), pp. 79-85.

20. Losada, M., Ramírez, J. M., Paneque, A. and del Campo, F. F. Light and dark reduction of nitrate in a reconstituted chloroplast system. *Biochim. Biophys. Acta* 109, pp. 86-96.
21. Ramírez, J. M., Del Campo, F. F., Paneque, A. and Losada, M. Ferredoxin-nitrite reductase from spinach. *Biochim. Biophys. Acta* 118 (1966), pp. 58-71.
22. Del Campo, F. F., Ramírez, J. M., Paneque, A. and Losada, M. Ferredoxin and the dark and light reduction of dinitrophenol. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 22 (1966), pp. 547-553.
23. Losada, M. and Paneque, A. Light reduction of nitrate by chloroplasts dependent of ferredoxin and NAD^+ . *Biochim. Biophys. Acta* 126 (1966), pp. 578-580.
24. Paneque, A. and Losada, M. Comparative reduction of nitrate by spinach nitrate reductase with NADPH_2 . *Biochim. Biophys. Acta* 128 (1966), pp. 202-204.
25. Paneque, A., Aparicio, P. J., Catalina, L. and Losada, M. Enzymatic reduction of nitrate with Flavio nucleotides reduced by a new chloroplast NADH-specific diaphorase. *Biochem. Biophys. Acta* 162 (1968), pp. 149-151.
26. Paneque, A., Aparicio, P. J., Cárdenas, J., Vega, J. M. and Losada, M. Nitrate as a Hill reagent in a reconstituted chloroplast system. *FEBS Lett.* 3 (1969), pp. 57-59.
27. García Olmedo, F. Genetics of synthesis of b-sitosterol esters in wheat and related species. *Nature* 220 (1968), pp. 1144-1145.
28. García-Olmedo, F. and Carbonero, P. Homeologous proteins synthesis controlled by homeologous chromosomes in wheat. *Phytochemistry* 9 (1970), pp. 1495-1497.